

TEKNIK BIOREMEDIASI SEBAGAI ALTERNATIF DALAM UPAYA PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR

Bambang Priadie*

Peneliti Muda Bidang Teknik Lingkungan SDA

*) Pusat Litbang Sumber Daya Air, Kementerian PU. Jl. Ir. H. Juanda No. 193 Bandung 40153. Tlp: 022 2501083, 2504035, Fax: 022 2500163, Email: bpriadie@yahoo.com

ABSTRAK

Walaupun telah diberlakukan berbagai macam kebijakan dan peraturan terkait dengan pengendalian pencemaran air, namun penurunan kualitas badan air masih terus berlangsung. Hal ini disebabkan karena lemahnya pengawasan dan penegakan hukum maupun teknologi pengendalian pencemaran air yang berbasis pembubuhan bahan kimia masih belum bisa memenuhi kriteria yang diberlakukan. Tulisan ini menguraikan proses bioremediasi sebagai alternatif dalam upaya pengendalian pencemaran air, meliputi: isolasi, pengujian degradasi zat pencemar, dan perbanyakan bakteri. Hasil isolasi dan identifikasi yang berasal dari "bakteri indigenous" didapatkan: *Micrococcus*, *Corynebacterium*, *Phenyl- bacterium*, *Enhydro- bacter*, *Morrococcus*, *Flavobacterium*, *Bacillus*, *Staphylococcus*, dan *Pseudomona*, yang dapat mendegradasi logam Pb, nitrat, nitrit, bahan organik, sulfida, kekeruhan, dan amonia. Sedangkan dari bakteri "commercial product" didapatkan jenis: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Escherichia*, serta enzim *Amylase*, *Protease*, *Lipase*, *Esterase*, *Urease*, *Cellulase*, dapat mendegradasi pencemar organik, nitrogen, fosfat, maupun kontrol pertumbuhan alga. Perbanyakan bakteri dari isolat bakteri indigenous dapat dikerjakan di laboratorium sedangkan bakteri "commercial product" bisa didapatkan di pasaran umum.

Kata Kunci : bioremediasi, isolasi, pengujian, identifikasi, perbanyakan bakteri

ABSTRACT

Although various policies and regulations related to water pollution control has been enacted, decreasing of water quality in water bodies are still ongoing. This is due to the weakness of monitoring and enforcement practices, as well as pollution control technologies in water-based chemicals, can not achieve the affixing standard. This paper aims to examine the process of bioremediation technologies, include: isolation, degradation test, identification, and bacterial multiplication. Isolation and identification results of "indigenous bacteria" includes: *Micrococcus*, *Corynebacterium*, *Phenyl-bacterium*, *bacter Enhydro*, *Morrococcus*, *Flavobacterium*, *Bacillus*, *Staphylococcus*, and *Pseudomonas*, which can degrade the metals Pb, nitrate, nitrite, organic matter, sulfide, turbidity, and ammonia. Where as the bacteria "commercial product" includes: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Escherichia*, and the enzymes *amylase*, *protease*, *lipase*, *esterase*, *Urease*, *Cellulase*, may degrade organic pollutants, nitrogen, phosphate, or control algae growth. Multiplication of bacteria from the indigenous bacterial isolates can be done in the laboratory while the commercial bacterial product can be found in the general market.

Keywords: bioremediation, isolation, bacterial testing, identification, bacterial multiplication

PENDAHULUAN

Kontaminasi bahan pencemar yang berasal dari aktivitas industri, pertanian, peternakan, maupun kegiatan rumah tangga telah menyebabkan terjadinya penurunan

kualitas air yang signifikan pada badan air seperti sungai, danau dan waduk. Walaupun saat ini telah diberlakukan berbagai macam kebijakan dan peraturan terkait dengan pengendalian pencemaran air, diantaranya: PP No. 82 tahun 2001 dan Permen LH No. 13 Tahun 2010, namun lemahnya praktek

pengawasan dan penegakan hukum menyebabkan penurunan kualitas air di badan air terus berlangsung. Status Lingkungan Hidup Indonesia (KLH, 2010) melaporkan bahwa sekitar 74% sungai-sungai besar di Pulau Jawa tidak memenuhi Kriteria Air Kelas II. Selain itu, data hasil pemantauan 29 sungai di Jakarta menunjukkan bahwa 24 sungai telah mempunyai nilai Indeks Kualitas Air (IKA) yang buruk, dan hanya 5 sungai mempunyai nilai IKA sedang (BPLHD DKI Jakarta, 2002). Kondisi yang sama juga ditunjukkan dari hasil pemantauan 40 situ di Jakarta dimana didapatkan 83% situ di DKI Jakarta juga mempunyai nilai IKA yang buruk (Diana 2005). Artinya, badan air, yaitu sungai dan danau telah dijadikan sebagai tampungan berbagai macam limbah dan telah mengalami penurunan kualitas air yang signifikan. Hal ini menandakan diperlukannya upaya yang berkesinambungan dalam rangka pengendalian dan pencegahan pencemaran air melalui upaya teknologi pencegahan dan penanggulangan pencemaran air yang sesuai dengan UU No:7/2004 tentang sumber daya air (SDA), pasal 20 ayat 1 dan 2 yang menyatakan bahwa konservasi SDA dilakukan untuk menjaga daya tampung dan fungsi SDA sehingga diharapkan sumber daya air yang ada dapat dimanfaatkan secara efisien dan berkelanjutan.

Saat ini upaya pengendalian pencemaran air pada umumnya dilakukan melalui teknologi pencegahan dan penanggulangan pencemaran air dengan pemilihan teknologi yang mempertimbangkan karakteristik air limbah dan standar kualitas efluen-nya. Teknologi yang dipilih diharapkan mampu mengubah kualitas efluen (*effluent-standard*) sehingga dapat memenuhi standar kualitas badan air penerima (*stream-standard*) yang dapat diaplikasikan secara maksimal agar dapat melindungi lingkungan serta memberikan toleransi bagi pembangunan industri. Acuan *stream standard* saat ini adalah standar yang ditetapkan pada badan air sesuai dengan peruntukannya, yaitu PP No. 82 Th. 2001, sedangkan acuan *effluent standard* adalah Baku Mutu yang ditetapkan pada limbah yang telah diolah dari unit-unit IPAL atau keseluruhan unit-unit IPAL yang mengacu

pada Kep.Men LH No. 51/MENLH/10/1995. Namun demikian, karena mengingat pengolahan air limbah yang dilakukan pada umumnya melalui penambahan bahan kimia (misalnya bahan koagulan) yang harganya semakin meningkat dan dikhawatirkan adanya resiko dan sejumlah hasil akhir yang tidak dikehendaki maka alternatif penambahan koagulan yang berasal dari mikroorganisme bisa dijadikan pilihan (Buthelezi *et al.*, 2009). Pada perkembangannya, perencanaan teknologi *effluent-standard* dan *stream-standard* mulai memperkenalkan metoda bioremediasi yang telah memperoleh perhatian yang cukup besar dari berbagai kalangan. Sehingga tulisan ini bertujuan untuk mengkaji proses bioremediasi dalam rangka teknologi pengendalian badan air tercemar yang meliputi: isolasi bakteri, pengujian bakteri dalam mengdegradasi zat pencemar, identifikasi bakteri, dan perbanyakan bakteri.

BIOREMEDIASI

Bioremediasi merupakan penggunaan mikroorganisme yang telah dipilih untuk ditumbuhkan pada polutan tertentu sebagai upaya untuk menurunkan kadar polutan tersebut. Pada saat proses bioremediasi berlangsung, enzim-enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme memodifikasi struktur polutan beracun menjadi tidak kompleks sehingga menjadi metabolit yang tidak beracun dan berbahaya.

Sehubungan dengan bioremediasi, Pemerintah Indonesia telah mempunyai payung hukum yang mengatur standar baku kegiatan Bioremediasi dalam mengatasi permasalahan lingkungan akibat kegiatan pertambangan dan perminyakan serta bentuk pencemaran lainnya (logam berat dan pestisida) melalui Kementerian Lingkungan Hidup, Kep Men LH No.128 tahun 2003, tentang tatacara dan persyaratan teknis dan pengelolaan limbah minyak bumi dan tanah terkontaminasi oleh minyak bumi secara biologis (Bioremediasi) yang juga mencantumkan bahwa bioremediasi dilakukan dengan menggunakan mikroba lokal.

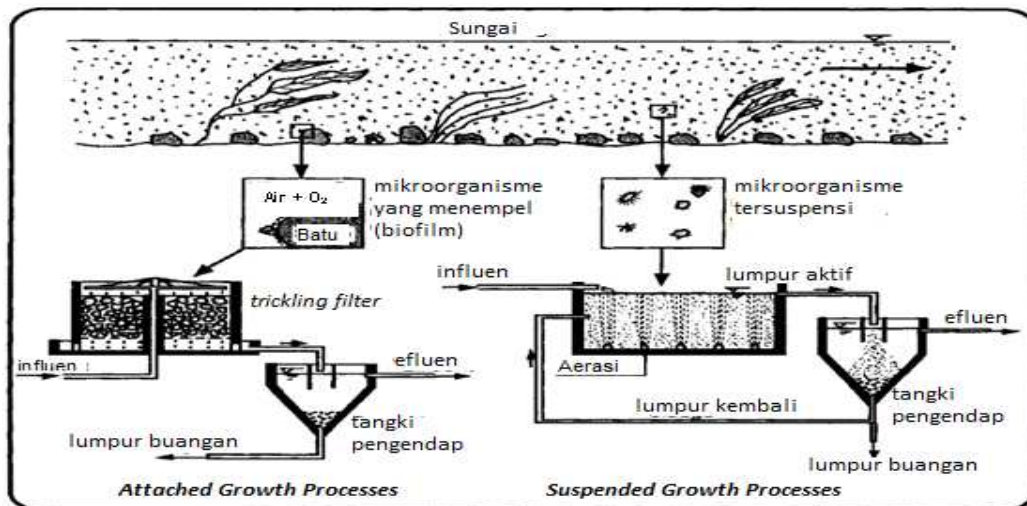
Pada dasarnya, pengolahan secara biologi dalam pengendalian pencemaran air, termasuk upaya bioremediasi, dengan

memanfaatkan bakteri bukan hal baru namun telah memainkan peran sentral dalam pengolahan limbah konvensional sejak tahun 1900-an (Mara, Duncan and Horan, 2003). Saat ini, bioremediasi telah berkembang pada pengolahan air limbah yang mengandung senyawa-senyawa kimia yang sulit untuk didegradasi dan biasanya dihubungkan dengan kegiatan industri, antara lain logam-logam berat, petroleum hidrokarbon, dan senyawa-senyawa organik terhalogenasi seperti pestisida dan herbisida (Tortora, 2010), maupun nutrisi dalam air seperti nitrogen dan fosfat pada perairan tergenang (Great Lakes Bio Systems. Inc. Co Orb-3.com/). Pengembangan IPTEK dalam bioremediasi untuk detoksifikasi atau menurunkan polutan dalam pengendalian pencemaran air telah menjadikan metoda ini menjadi lebih menguntungkan dibandingkan dengan metoda yang menggunakan bahan kimia. Bahkan, saat ini, flokulan umum yang berbahan baku Alum untuk menurunkan

bahan pencemar air sungai telah bisa digantikan dengan bioflokulan yang mikroorganismanya diisolasi dari proses lumpur aktif dan diketahui dapat menurunkan turbiditi sebesar 84-94% (Buthelezi *et al*, 2009). Selain itu, kehandalan mikroba termasuk diantaranya bakteri, jamur, dan protozoa dalam pengolahan air limbah dan peranannya dalam menjaga keseimbangan ekologis perairan sudah banyak dielaborasi (Gerardi., 2006).

Prinsip Dasar

Pengolahan air tercemar secara biologi pada prinsipnya adalah meniru proses alami *self purification* di sungai dalam mendegradasi polutan melalui peranan mikroorganisma. Peranan mikroorganisma pada proses *self purification* ini pada prinsipnya ada dua (Gambar 1) yaitu: pertumbuhan mikroorganisma menempel dan tersuspensi.



Gambar 1. Proses *self-purification* di sungai yang diadopsi pada IPAL penduduk (Mudrack and Kunst, 1986; dalam Paul Lessard and Yann Le Bihan, 2003)

a. Pertumbuhan mikroorganisma menempel

Mikroorganisme ini keberadaannya menempel pada suatu permukaan misalnya pada batuan ataupun tanaman air. Selanjutnya diaplikasikan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) misalnya dengan sistem *trickling filter*. Selama pengolahan aerobik air limbah domestik, genus bakteri yang sering ditemukan berupa Gram-negatif berbentuk batang heterotrofik organisme, termasuk *Zooglea*, *Pseudomonas*, *Chromobacter*, *Achromobacter*, *Alcaligenes* dan

Flavobacterium. Filamentous bakteri seperti genera *Beggiatoa*, *Thiotrix* dan *Sphaerotilus* juga ditemukan dalam biofilm, sebagaimana organisme seperti *Nitrosomonas* dan nitrifikasi *Nitrobacter*.

b. Pertumbuhan mikroorganisma yang tersuspensi

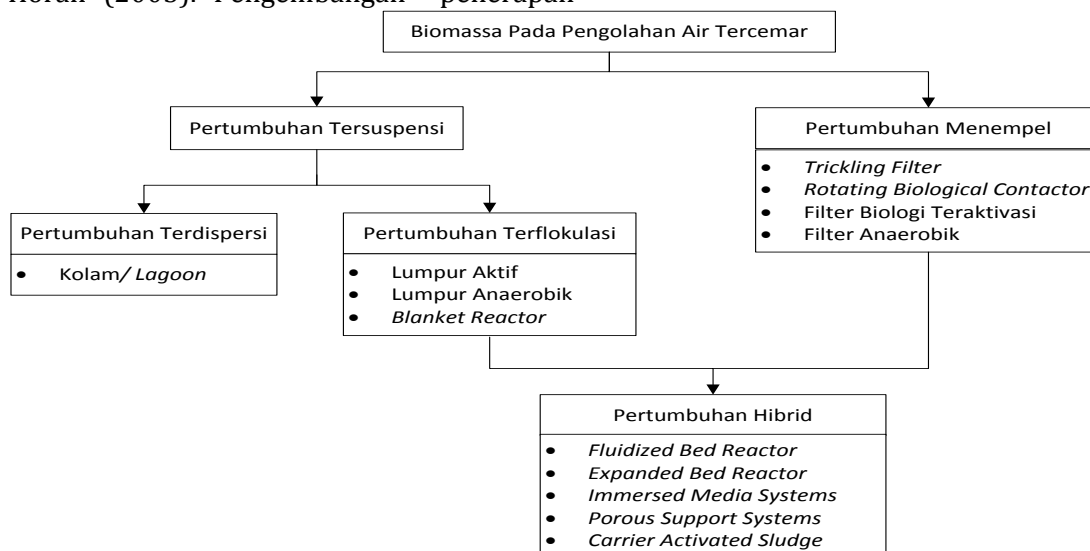
Mikroorganisme ini keberadaannya dalam bentuk suspensi di dalam air yang tercemar. Selanjutnya diaplikasikan pada IPAL dengan sistem lumpur aktif

konvensional menggunakan bak aerasi maupun sistem SBR (*Sequence Batch Reactor*). Berbeda dengan mikroorganisma yang menempel, sistem pertumbuhan mikroorganisma yang tersuspensi terdiri dari agregat mikroorganisma yang pada umumnya tumbuh sebagai *flocs* dalam kontak dengan air limbah pada waktu pengolahan. Agregat atau flocs, yang terdiri dari berbagai spesies mikroba, berperan dalam penurunan polutan. Umumnya spesies mikroba ini terdiri dari bakteri, protozoa dan metazoa. Pada sistem kolam stabilisasi, organisme *phototrophic*, yang memanfaatkan berbagai akseptor elektron, dapat dimanfaatkan untuk mencapai pengolahan yang baik dengan mengabaikan masukan energi. Kumpulan paper yang menceritakan berbagai metoda pengolahan air limbah yang menggunakan mikroorganisma serta permasalahannya

dielaborasi dalam Mara, Duncan and Horan (2003). Pengembangan penerapan

kedua proses tersebut dalam teknologi pengolahan air limbah dapat digabungkan berupa *hybrid reactor* (Gambar 2).

Pada akhirnya, peniruan proses alami *self purification* di sungai dalam mengdegradasi polutan baik melalui mikroorganisma yang menempel maupun mikroorganisma yang tersuspensi untuk bioremediasi air tercemar memerlukan beberapa tahapan. Tahapan tersebut meliputi: isolasi bakteri, pengujian bakteri dalam mengdegradasi zat pencemar, identifikasi, dan perbanyakan bakteri. Bagi penggunaan bakteri indigenous, seperti yang dipersyaratkan oleh Kep Men LH No.128 (2003), tahap isolasi bakteri merupakan langkah awal yang harus diperhatikan.



Gambar 2. Sistematika bentuk biomasa dalam sistem IPAL (Senthilnathan and Ganczarczyk, 1990, dalam Lessard and Bihan, 2003)

Teknik Isolasi Bakteri

Isolasi bakteri yang baik dan benar dapat menentukan bakteri yang cocok dalam proses remediasi air limbah yang diinginkan. Oleh karena itu prinsip pemilihan bakteri hasil isolasi dapat memberikan kinerja penurunan kadar polutan yang optimal (Thompson *et al*, 2005). Karena secara alami jumlah bakteri yang diinginkan terdapat dalam jumlah

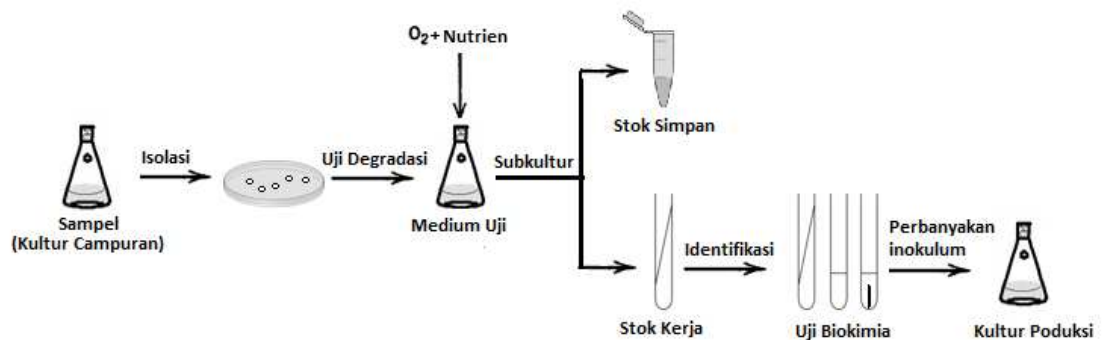
sedikit, malah lebih banyak bakteri yang tidak diinginkan, maka diperlukan proses isolasi untuk memperbanyak bakteri yang dimaksud (Barrow. and Feltham , 2003). Tujuan mengisolasi bakteri adalah untuk mendapatkan bakteri yang diinginkan dengan cara mengambil sampel mikroba dari lingkungan yang ingin diteliti. Dari sampel tersebut kemudian dikultur/dibiakkan dengan menggunakan media universal atau

media selektif, tergantung tujuan yang ingin dicapai (Tortora, 2010).

Bahan nutrisi dipersiapkan untuk pertumbuhan bakteri di laboratorium yang disebut kultur media. Beberapa bakteri dapat tumbuh dengan baik pada hampir semua media kultur; lainnya memerlukan media kultur khusus yang pada akhirnya akan ada suatu pertumbuhan yang disebut inokulum. Untuk tujuan tersebut diperlukan media yang diperkaya (*enrichment culture*) untuk memperbanyak bakteri yang dimaksud. Beragam media untuk isolasi jenis-jenis bakteri diuraikan secara detail pada Handbook of Media for Environmental Microbiology (Atlas dan Ronald, 2005), serta pekerjaan laboratorium dan peralatan yang dibutuhkan (Benson, 2001; Seiler, 2005). Pada medium yang diperkaya, termasuk juga media selektif, biasanya menyediakan nutrisi dan kondisi lingkungan yang

mendukung pertumbuhan mikroba yang diinginkan tetapi menghambat bakteri lainnya (Tortora, 2010).

Setelah itu, media yang mengandung mikroorganisme diinginkan tersebut selanjutnya diinkubasi selama beberapa hari, kemudian sejumlah kecil inokulum dipindahkan ke lain media dengan komposisi media yang sama. Setelah serangkaian transfer tersebut, mikroorganisme yang masih hidup akan terdiri dari bakteri yang mampu melakukan metabolisme bahan organik. Setelah populasi bakteri bertambah dilakukan isolasi pada medium agar yang diinkubasi selama 3 hari. Dari hasil inkubasi tersebut diperoleh koloni-koloni bakteri untuk selanjutnya akan diambil koloni yang dominan untuk diamati dan dibuat sub kultur murninya untuk digunakan dalam penurunan zat pencemar (Gambar 3)



Gambar 3 . Proses isolasi, uji degradasi, identifikasi, dan perbanyakan bakteri

APLIKASI BIOREMEDIASI

1. Isolasi bakteri dan Penurunan Kadar Pencemar

Saat ini penelitian dan aplikasi bioremediasi untuk air tercemar dapat dibedakan menjadi dua, yaitu bakteri *indigenous* dan bakteri “commercial product”.

a) Bakteri *Indigenous*

Bakteri *indigenous* merupakan hasil isolasi bakteri yang dilakukan oleh laboratorium yang bersangkutan. Isolat terbaik yang dipilih dapat dikombinasikan dalam suatu konsorsium. Hasil isolasi dan seleksi bakteri *indigenous* yang berasal dari

lumpur Sungai Siak didapatkan 6 isolat bakteri yang dapat mereduksi logam Pb. Bakteri tersebut terdiri dari: *Micrococcus*, *Corynebacterium*, *Phenylo-bacterium*, *Enhydrobacter*, *Morrococcus*, *Flavobacterium* dengan jumlah total bakteri berkisar antara: $3,0 \times 10^7$ sampai $1,5 \times 10^8$ sel/ml (Sri, Dewi, dan Suwondo, 2005). Selain berpotensi dalam penurunan logam, bakteri *indigenous* lain yang berasal dari Rumah Pematangan Hewan (RPH) juga mempunyai kemampuan untuk menurunkan pencemar organik, seperti isolat hasil penelitian Suyasa (2007) yang mendapatkan 17 isolat bakteri yang berasal dari RPH mempunyai kemampuan

menurunkan COD 63% waktu retensi 7 hari. Selain dari lumpur sungai, bakteri untuk bioremediasi air juga dapat diperoleh dari air dan sedimen danau atau tambak udang. Dengan melakukan isolasi dan seleksi bakteri yang berasal air dan lumpur Danau Maninjau didapatkan 2 isolat bakteri yang dapat mereduksi sulfida, dan 7 isolat bakteri untuk mereduksi amonia (Rusnam; Efrizal; Bustanul , 2009). Seperti juga di danau yang merupakan ekosistem perairan tergenang (*lentic*), kolam tambak udang juga

mempunyai potensi bakteri remediasi. Dari Isolasi dan seleksi bakteri yang berasal dari tambak udang di daerah Karawang, Jawa Barat (Muhammad dan Widiyanto, 2008) menyimpulkan bahwa bakteri yang berasal dari perairan tambak udang tersebut mampu menjaga kestabilan konsentrasi amonia dan nitrit, sehingga konsentrasinya masih berada pada batas aman untuk budidaya. Tabel 1 berikut adalah beberapa contoh penggunaan isolat indigenous pada pengendalian badan air tercemar

Tabel 1. Beberapa contoh penggunaan isolat indigenous pada pengendalian badan air tercemar

Identitas bioremediator	Sumber	Digunakan pada	Metode aplikasi	Referensi
bakteri nitrifikasi dan bakteri denitrifikasi	Perairan tambak udang	perairan tambak udang windu dosis 50 L Menurunkan kadar nitrat dan nitrit di tamvak udang	Ditebar di tambak dengan dosis 50 L/ha (udang umur 30 -60 hari) dan 100 L/h (60 - 120 hari) dengan kepadatan populasi 10 ⁹ upk/mL setiap 10 hari	Badjoeri Muhammad dan Tri Widiyanto, 2008
2 isolat bakteri untuk mereduksi sulfida 7 isolat bakteri untuk mereduksi amonia >35 % (dari konsentrasi awal 500 mg/L) <i>Micrococcus</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Phenyllo- bacterium</i> , <i>Enhydro- bacter</i> , <i>Morrococcus</i> , <i>Flavobacterium</i>	air dan sediment danau Maninjau Sedimen Sungai Siak	Sulfida dan ammonia. mereduksi amonia >35 % (dari konsentrasi awal 500 mg/L) Penurunan Logam Pb	Laboratorium: Petri disk Erlenmeyer Laboratorium, Petri disk Jumlah total bakteri pengikat Pb: 3,0 X 10 ⁷ sampai 1,5 X 10 ⁸ sel/ml	Rusnam; Efrizal; Arifin Bustanul , 2009 Wulandari Sri, Nila Fitri Dewi, dan Suwondo, 2005
17 isolat dari Rumah Pemotongan Hewan (RPH) <i>Bacillus subtilis</i> <i>Exiguobacterium acetylicum</i> <i>Klebsiella terrigena</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Pseudomonas pseudoalcaligenes</i> <i>Pseudomonas plecoglossicida</i>	Sedimen Perairan Tercemar dan Bak Pengolahan Limbah Activated sludge	Penurunan COD 63% waktu retensi 7 hari Penurunan Turbidity 84.07 – 93.56% at 10 ppm	Laboratorium: Petri disk Erlenmeyer Tube test	Suyasa, I W.B. 2007, Buthelezi, et al, 2009
gram-positive bacillus (GPB), gram-negative cocci (GPC), gram-negative bacillus (GNB) and gram-negative cocci (GNC) .	Sewage treatment plants	Mendapatkan isolasi bakteri untuk pengolahan air limbah penduduk	Laboratorium, Petri disk Kepadatan populasi 10 ⁴ - 10 ⁹ upk/mL Total isolate 46: 22 isolat GPB dan GPC 19 isolat f GNP and GNC, 5 isolat tidak terderterminasi	Jalal, K.C.A, et al, 2006

b) Bakteri “commercial product”

Selain bakteri indigenous, perkembangan IPTEK bioremediasi menjadikan produksi mikroorganisma

maupun enzim dipasaran komersial semakin mudah didapatkan. Produk komersial untuk bioremediasi biasa dipergunakan untuk menjaga kualitas air danau (*pond*), *algal bloom*, penurunan nitrat-fosfat, peningkatan

kecerahan (Great Lakes Bio Systems. Inc. Co Orb-3). Selain untuk perairan tergenang (*lentic*), produk komersial juga telah diterapkan pada perairan mengalir (*lotic*). Produk ACF32 dan BioAktiv digunakan di Sungai Bintangor- Malaysia (Beng, 2007a) yang dapat menurunkan kadar BOD, COD, TSS, Total-N, Total-P dalam air sebesar rata-

rata 50%. Sedangkan produk AquaClean® (Beng, 2007b) dipakai dalam bioremediasi Sungai Xiba di China (Yudianto and Yuebo, 2010). Beberapa contoh lain penelitian bioremediasi yang berasal dari bakteri komersial dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Beberapa contoh penggunaan isolat Bakteri “commercial product” pada pengendalian badan air tercemar dan budidaya perikanan

Identitas Bioremediator	Sumber	Digunakan	Metode aplikasi	Referensi
Pada budidaya perikanan				
<i>Bacillus</i> sp. 48	<i>Common snook</i>	<i>Centropomus undecimalis</i>	Dimasukan ke dalam air ; mengurangi tingkat salinitas	Antony and R. Philip (2006)
<i>Bacillus</i> sp.	Produk komersial	Penaeids	Air	Antony and R. Philip (2006)
<i>Bacillus</i> sp.	Produk komersial	<i>Channel catfish</i>	Disebarkan pada air kolam	Antony and R. Philip (2006)
Kultur campuran, kebanyakan <i>Bacillus</i> sp.	Produk komersial	<i>Brachionus plicatilis</i>	Dicampurkan pada air	Antony and R. Philip (2006)
<i>Roseobacter</i> sp. BS 107	Tidak diketahui	Larva Scallop	Dicampurkan pada air	Antony and R. Philip (2006)
Pada badan air				
Enzymes & Bacteria	Danau	Di danau Mengurangi kekeruhan dan pencemar organik	Dicampurkan pada air danau	Great Lakes Bio Great Lake Bio Systems. Inc. Co Orb-3
ACF32 dan BioAktiv	<i>OCHEM EAST SDN. BHD.</i>	Di sungai Penurunan BOD, COD	Dimasukan ke dalam air sungai secara periodik	Beng G.K., 2007 ^a
Tidak diketahui	AquaClean®	Penurunan parameter: BOD, COD, TSS, TN, TP, Rata-rata 50%	Penebaran bakteri AquaClean® di sungai	Beng G.K., 2007 ^b
- Kumpulan Species <i>Bacillus</i> , Aerob dan facultatif anaerobe - Produksi Enzym Bakteri: Amylase, Protease, Lipase, Esterase, Urease, Cellulase, Xylanase	Environmental Leverage Inc. - MicroBlock - Microclear 101	Di danau Kontrol pertumbuhan alga Di sungai Bioaugmentasi di saluran	Dimasukan ke dalam air	Environmental Leverage Inc.
<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Pseudomonas stutzeri</i> , <i>Escherichia hermannii</i> and <i>Pseudomonas fluorescens</i>	1. a commercial bioadditive 2. activated sludge	Penurunan : 55% COD, 62% BOD Penurunan : 89% COD, 97% BOD	The pilot-scale channel reactor (1.20m x 0.7m x 0.25 m), feed rate 2,5 L/jam	Silva, M. C. L. et al,

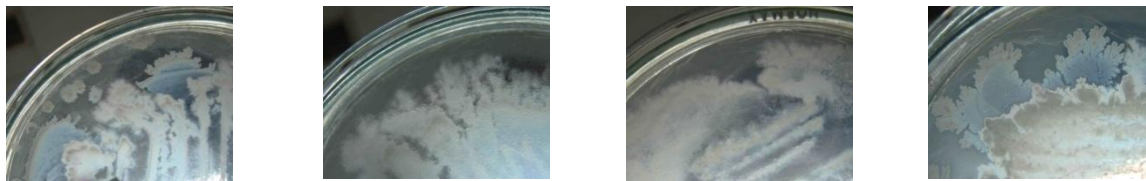
2. Identifikasi bakteri

Identifikasi dapat dilakukan dengan beberapa cara termasuk : Pengamatan morfologi sel, pewarnaan gram, dan uji

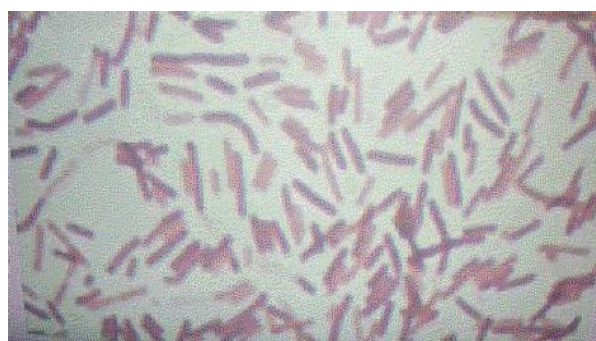
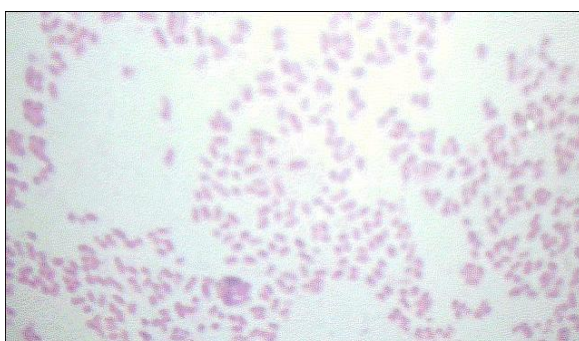
biokimia. Beberapa contoh morfologi sel bakteri yang berasal dari peternakan sapi di Kabupaten Bandung (Gambar 4). Selain berdasarkan morfologi, bakteri juga dibedakan menjadi 3 bentuk meliputi: Bentuk bulat (kokus), Bentuk batang (basil),

dan Bentuk spiral (Pelczar dan Chan, 2006; Bergey's, 2005, Michael .,2006). Beberapa contoh bentuk bakteri dan pewarnaan yang berasal dari sewage

treatment di Malaysia dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 4. Morfologi sel dari peternakan sapi di Kabupaten Bandung (Puslitbang SDA, 2011)



Gambar 5. bentuk bakteri dan pewarnaan yang berasal dari sewage treatment di Malaysia Gram positif –kokus (kiri) dan Gram positif- basil (kanan) Jalal, K.C.A, et al, 2006

Beberapa contoh dari hasil isolasi dan identifikasi indigenous bakteri didapatkan jenis *Micrococcus*, *Corynebacterium*, *Phenyllo- bacterium*, *Enhydro- bacter*, *Morrococcus*, *Flavobacterium*. Selain bakteri indigenous tersebut, bakteri “commercial product” seperti jenis *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Escherichia*, serta enzim Amylase, Protease, Lipase, Esterase, Urease, Cellulase, Xylanase, juga diketahui dapat mendegradasi bahan pencemar organik (BOD, COD) di sungai,

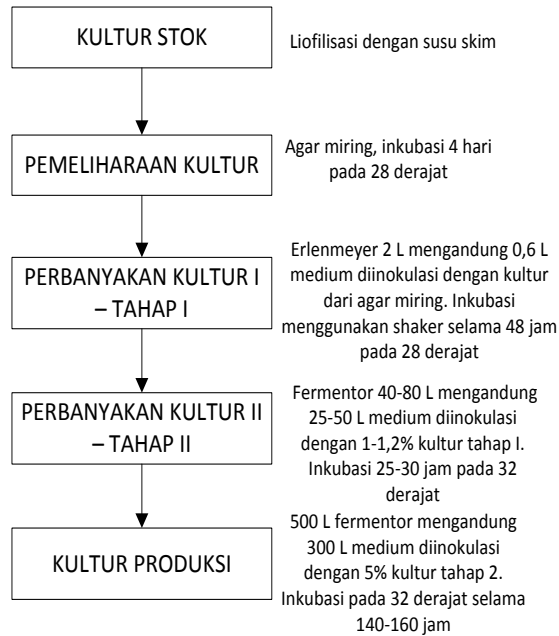
Medium pengembangan inokulum harus cukup serupa dengan medium produksi. Hal ini dimaksudkan untuk meminimalkan periode adaptasi dengan mereduksi fase lag. Perbanyakan bakteri atau pengembangan inokulum ini merupakan proses untuk memproduksi inokulum dengan jumlah yang besar sehingga menjaga keberlangsungan

maupun degradasi nitrogen, fosfat, maupun kontrol pertumbuhan alga di danau.

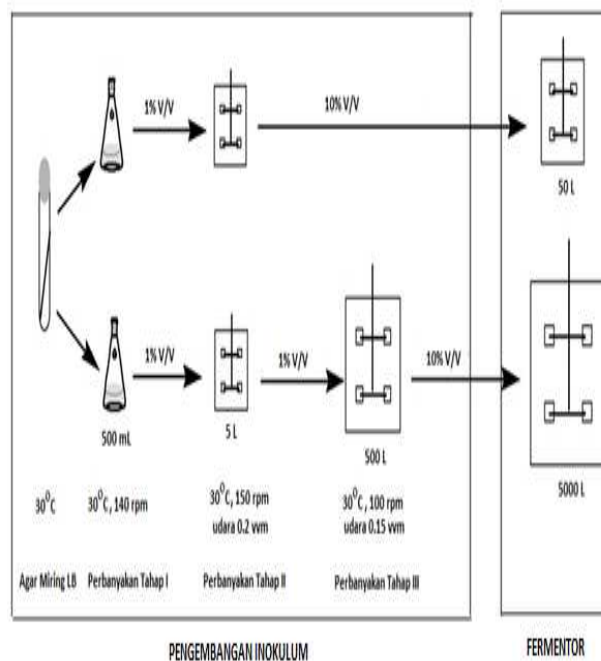
3. Perbanyakan bakteri

Setelah didapatkan isolat yang diinginkan, uji degradasi, dan identifikasi bakteri, selanjutnya adalah membuat perbanyakan bakteri untuk uji skala lapangan. Perbanyakan bakteri atau pengembangan inokulum ini merupakan proses untuk memproduksi inokulum.

Perbanyakan bakteri *indigenous* dilakukan melalui tahapan: pembuatan kultur stok, pemeliharaan kultur, perbanyakan kultur tahap I, perbanyakan kultur tahap II, dan pembuatan kultur produksi. Contoh bagan alir perbanyakan bakteri *indigenous* dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6 Diagram Alir Pengembangan Inokulum untuk Program Skala *Pilot* Fermentasi Vitamin B12 Menggunakan *Pseudomonas aeruginosa* (Spalla et. al, 1989 dalam Astuti, 2009)



Gambar 7 diagram alir pengembangan inokulum bakteri menggunakan bakteri *Klebsiella pneumoniae* (Cheng, Ke-Ke, et al. 2007)

Berbeda dengan perbanyakkan bakteri *indigenous*, bakteri yang berasal dari *commercial product* pada umumnya hanya tinggal mengencerkan produk dengan dosis yang telah ditetapkan pada kemasannya (Great Lakes Bio Systems. Inc. co Orb-3.com; Environmental Leverage Inc.; Beng , 2007^a, Beng , 2007^b). Sebagai contoh, diperlukan total 403 galon produk ACF32 dan 330 kg BioAktiv yang disebarkan ke sungai selama tiga bulan dalam rangka bioremediasi Sungai Bintangor sepanjang 650 m dengan lebar sungai antara 12 – 15 m (Beng., 2007^a). Produk lainnya, untuk mengurangi kekeruhan di danau, produk Professional Enzymes & Bacteria memerlukan dosis 0,5 galon per acre foot (1,5 ppm) dengan ulangan 2-4 kali setahun (Great Lakes Bio Systems. Inc. co Orb-3.com)

KESIMPULAN

Teknologi bioremediasi dalam pengendalian badan air tercemar dapat dilakukan melalui proses: isolasi, pengujian bakteri dalam mengdegradasi zat pencemar, identifikasi bakteri, dan perbanyakkan bakteri. Isolat bakteri tersebut dapat berasal dari bakteri "*indigenous*" atau dari "*commercial product*". Baik bakteri "*indigenous*" maupun *commercial product*" dapat mereduksi bahan pencemar logam Pb, nitrat, nitrit, bahan organik (COD), sulfida, kekeruhan, dan amonia di sungai maupun danau. Perbanyakkan bakteri *indigenous* dilakukan melalui tahapan: pembuatan kultur stok, pemeliharaan kultur, perbanyakkan kultur tahap I, perbanyakkan kultur tahap II, dan pembuatan kultur produksi. Sedangkan perbanyakkan bakteri yang berasal dari *commercial product* tinggal mengencerkan produk dengan dosis yang telah ditetapkan pada kemasannya

DAFTAR PUSTAKA

Antony. S.P. and R. Philip (2006) *Bioremediation in Shrimp Culture Systems*. NAGA, World Fish Center Quarterly Vol. 29 No. 3 & 4 Jul-Dec 2006

Astuti, Dea Indriani. 2009. *Kuliah Prinsip Teknik Fermentasi*. Bandung : ITB

Atlas, Ronald M., 2005. *Handbook of media for environmental microbiology*, 2nd ed. ISBN 0-8493-3560-4. CRC Press

Badjoeri, M, Tri Widiyanto. 2008. *Penggunaan Bakteri Nitrifikasi untuk Bioremediasi dan Pengaruhnya terhadap Konsentrasi Ammonia dan Nitrit di Tambak Udang*. ISSN 0125-9830. Jurnal Oseanologi dan Limnologi Indonesia Vol. 34 (2) : 261-278.

Beng G.K., 2007^a *Report for Bio-remediation of Polluted Waters Sungai Bintangor, Kuching, Sarawak, with Aqua Clean™ and BioAktiv*. OCHEM EAST SDN. BHD. Sarawak

Beng G.K., 2007^b. *Cost Effective Bioremediation of Polluted Rivers, Lagoons and Lakes for a Sustainable Water Supply Source*. Technical Paper KWP June 2007 Conference Karachi. Pakistan

BPLHD DKI Jakarta, 2002. *Data Pemantauan Kualitas Air Sungai di Propinsi DKI Jakarta*, Jakarta, 2002.

Barrow, G.I. and Feltham R.K.A.; ed, 2003, *Cowan and Steel's manual for identification of medical bacteria* -3rd ed. / edited and rev.

Buthelezi, S. P., Olaniran, A. O. and Pillay, B., 2009, *Turbidity and microbial load removal from river water using biofloculants from indigenous bacteria isolated from wastewater in South Africa*, African Journal of Biotechnology Vol. 8 (14), pp. 3261-3266, 20 July, 2009. ISSN 1684-5315 © 2009 Academic Journals

Benson, 2001, *Microbiological Applications Lab Manual*, Eighth Edition, The McGraw-Hill Companies.

Barrow, G.I. and Feltham, R.K.A.; ed, 2003, *Cowan and Steel's manual for identification of medical bacteria* 3rd ed. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.

BERGEY'S MANUAL OF *Systematic Bacteriology*, 2005, 2nd ed, ISBN-10: 0-387-24145-0 ISBN-13: 978-0387-24145-6, Springer

Cheng , Ke-Ke; Zhang, Jian-An ; Liu, De-Hua; Sun, Yan ; Liu, Hong-Juan; Yang, Ming-De; Xu, Jing-Ming. 2007. *Pilot-Scale Production of 1,3-Propanediol Using Klebsiella pneumoniae*. Process Biochemistry 42 (2007) 740-744.

Environmental Leverage Inc. Microclear 101 *For Algae Control* PRODUCT BULLETIN, remediation of river and lakes

Gerard J. Tortora, Berdell R. Funke, Christine L. Case. - 10th ed, 2010, *Microbiology: an introduction*.

Great Lakes Bio Systems. Inc. .co Orb-3.com/LakeAndPond Orb-3 Professional Enzymes & Bacteria are the total solution.

Gerardi, M.H. 2006. *Wastewater Bacteria*. New Jersey. John Willey.

Hendrawan Diana 2005. *Kualitas Air Sungai dan Situ di DKI Jakarta*, Makara, Teknologi, Vol. 9, No.1, April 2005:13-19

Jalal, K.C.A.; Zahangir Alam, Md.; Suleyman A; Muyibi and Jamal P.; 2006, *Isolation and Purification of Bacterial Strains from Treatment Plants for Effective and Efficient Bioconversion of Domestic Wastewater Sludge*. American Journal of Environmental Sciences 2 (1): 1-5, 2006 ISSN 1553-345X

- Jürg P. Seiler, 2005, *Good Laboratory Practice – the Why and the How*, ISBN 3-540-25348-3 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51/MENLH/10/1995 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2003. *Tata Cara dan Persyaratan Teknis dan Pengelolaan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi secara Biologis (Bioremediasi)*.
- Kementerian Lingkungan Hidup, 2010, *Status Lingkungan Hidup Indonesia*, Jakarta
- Mara, Duncan and Horan, N.J., 2003 *Handbook of water and wastewater microbiology*, ISBN 0-12-470100-0. Elsevier
- Pusat Litbang Sumber Daya Air, 2011, *Teknologi Pengendalian Kualitas Air Sungai Tercemar dan Air Limbah*, Konsep Laporan Akhir
- Peraturan Pemerintah No. 82 Th. 2001, *tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 2010, *tentang Upaya Pemantauan Lingkungan Hidup dan Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Surat Pernyataan Kesanggupan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan Hidup*;
- Paul Lessard and Yann Le Bihan, 2003, *Introduction to Microbiological Wastewater Treatment, Fixed film processes*, Handbook of water and wastewater microbiology, Ed Duncan Mara and Hogan, Elsevier. (317-336)
- Pelczar, Michael J dan Chan, E.C.S. 2006. *Dasar-Dasar Mikrobiologi Jilid 1*. Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia.
- Rusnam, Efrizal, Arifin Bustanul. 2009. *Teknik Bioremediasi Pengendalian Pencemaran Air Danau Maninjau Sumatera Barat*. Penelitian Hibah Strategis Nasional. Universitas Andalas.
- Silva. C. L. ; Barbosa, C. M. B. M.; Silva. , V. L. ; Pons. M.N.; Motta Sobrinho. , M. A, *EVALUATION OF BACTERIAL BIOMASSES FOR THE POLLUTION TREATMENT OF THE DERBY-TACARUNA CANAL*, 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering, 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering, EMPROMER, Brazil
- Suyasa, W.B. 2007. *Isolasi Bakteri Pendegradasi Minyak/Lemak dari Beberapa Sedimen Perairan Tercemar dan Bak Pengolahan Limbah*. Jurnal Bumi Lestari Vol. 7 (2) : 39-42.
- Thompson Ian P.; Christopher J. van der Gast, Lena Ciric and Andrew C. Singer., 2005. *Bioaugmentation for bioremediation: the challenge of strain selection*, Environmental Microbiology (2005) 7(7), 909–915).
- Undang-undang No:7/2004, *tentang Sumber Daya Air*
- Wulandari Sri, Nila Fitri Dewi, dan Suwondo, 2005, *IDENTIFIKASI BAKTERI PENGIKAT TIMBAL (Pb) PADA SEDIMEN DI PERAIRAN SUNGAI SIAK*, Jurnal Biogenesis Vol. 1(2):62-65, 2005 © Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Riau ISSN : 1829-5460
- Yudianto, D, Xie Yuebo. 2010. *Evaluasi Pemanfaatan Teknologi Bakteri dan Pemodelan Proses Biodegradasi dalam Pekerjaan Restorasi Sungai Xuxi, Kota Wuxi, China*. Pengembangan Teknologi Bakteri untuk Restorasi Sungai, BAPPENAS.